

周宏, 刘俊, 高成, 等. 我国城市内涝防治现状及问题分析[J]. 灾害学, 2018, 33(3): 147–151. [ZHOU Hong, LIU Jun, GAO Cheng, et al. Analysis of Current Situation and Problems of Urban Waterlogging Control in China[J]. Journal of Catastrophology, 2018, 33(3): 147–151. doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2018.03.028.]

# 我国城市内涝防治现状及问题分析<sup>\*</sup>

周 宏, 刘 俊, 高 成, 欧淑芳

(河海大学 水文水资源学院, 江苏 南京 210098)

**摘 要:** 由于全球气候变化及人类活动的影响, 近年来我国城市内涝灾害频发。在此背景下, 从地形特征的角度简要阐述了城市易涝区, 对城市内涝的成因进行系统性分析, 将造成城市内涝的主要因素归纳为自然因素、规划因素、工程因素、管理因素, 并分别进行论述。从工程措施和非工程措施两个方面回顾了我国在解决城市排水防涝问题过程中所采取的做法, 做出的改进, 指出在规划设计、管网建设、体制机制、应急抢险等方面存在的不足。针对现有研究中的不足, 指出变化环境下城市内涝防治中亟待解决的问题。

**关键词:** 城市内涝; 内涝防治; 城市雨洪; 雨水管网; 海绵城市

**中图分类号:** TV11; X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2018)03–0147–05

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2018.03.028

我国正处于城市化进程不断推进和深入的时期, 目前城市化水平已超过 50%。根据世界银行预测, 随着城市化快速发展, 到 2030 年我国的城市化水平将超过 70%。随着城市化进程的不断推进, 城市致洪效应日益显著, 城市水安全问题日益突出。气候变化和人类活动直接影响了水循环要素的时空分布特征, 使得城市特大内涝灾害问题日益严重。在城市化的快速发展与气候变化双重影响下, 我国北京、上海、广州、深圳、南京、杭州、武汉、济南等大中城市相继发生城市洪涝灾害事件, 给当地的社会经济发展带来了很大的损失, 并呈逐年上升的态势。本文对我国内涝防治现状进行相关评述, 并指出在城市防涝方面亟待解决的问题。

## 1 城市内涝

城市内涝是指强降雨或连续性降雨超过城市管网排水能力, 导致城市地面产生积水灾害的现象<sup>[1]</sup>。内涝的形成有其自然因素的存在, 更与社会因素紧密相关。全球气候变暖使得极端降雨事件频发, 加之城市建设中不透水下垫面的增加使得雨水下渗强度降低, 地面产流量增加, 汇流速度加快, 雨水快速汇集至排水管网入水口。然而由于城市排水管网设计标准低, 难以及时排除涌入的雨水, 容易在雨水口附近产生积水, 一些低洼地区在排水过程中由于重力自排或泵站抽排能力不足也会产生积水, 随着积水时间和深度的增

加从而引发城市内涝灾害。两种地形容易产生城市内涝<sup>[2]</sup>, 一种是城市开发建设过程中形成的周边地区高程高于中心的低洼区域, 另一种是降雨强度超过管网排水标准产生溢流或超出河道排涝能力产生漫溢地区。

## 2 城市内涝成因分析

城市内涝灾害频发, 暴露出我国城市规划与建设中还存在许多问题。这其中既有排水系统本身规划设计的问题, 也有体制机制的原因, 更有重建轻管的因素, 再加上城市大规模开发建设, 城市内涝危害更是日益加剧<sup>[3–4]</sup>。综合起来看, 造成城市内涝的主要因素可以归纳为自然因素、规划因素、工程因素、管理因素四类。

### 2.1 自然因素

#### (1) 气候变化导致城市暴雨发生频繁

全球气候变暖导致极端降雨事件增多。我国国土面积广阔, 降雨时空分布不均匀, 每年夏季汛期大多数城市都面临着强降雨袭击的风险, 短时间内的强降雨事件往往导致城市排水系统大面积瘫痪, 排水不及时造成内涝灾害。城市快速发展带来的城市热岛效应、雨岛效应进一步影响了降雨的分布和强度, 使得区域暴雨中心逐渐向城市化地区转移, 城市发生高强度暴雨的可能性更大<sup>[5]</sup>。

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2017–11–19 修回日期: 2018–03–21

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41471015); 中国工程院重大咨询研究项目(2015–ZD–07)

第一作者简介: 周宏(1992–), 男, 江苏如东人, 博士生, 主要从事城市水文学方面的研究。E-mail: zhhd2011@163.com

通讯作者: 刘俊(1968–), 男, 安徽当涂人, 教授, 博士生导师, 主要从事城市水文学、工程水文学方面的研究。

E-mail: ljhohai@163.com

## (2) 水循环系统遭到破坏

我国正处于经济高速发展的时期,城市硬化道路和建筑不断扩张,原有河道、湖泊等自然水体面积与数量急剧减少,城市范围内不透水区域越来越大,地面硬化率逐渐增加。城市建设破坏了城市排水方式和格局,增加了排水系统脆弱性。部分河道被人为填埋或暗沟化,河网结构及排水功能退化;道路及地下管道基础设施建设,破坏了原来的排水系统,管道与河道排水之间的衔接和配套不合理,排水路径变化,排水格局紊乱,排水系统不完善。加之大量的地下停车场、商场、立交桥等微地形改变原先的水循环过程,有利于雨水积聚和洪涝的形成,也是城市洪涝最为严重的地点。

## 2.2 规划因素

### (1) 城市总体规划对涝灾重视程度不够

很多城市为了满足发展对土地的需求,在总体规划过程中将许多湖泊、河道、坑塘的用地性质规划成建设用地,而不进行水域占补平衡的补偿,导致地面硬化率提高,雨水降落到地面后迅速汇集到城市低洼处从而产生内涝灾害<sup>[6]</sup>。

### (2) 城市治涝规划与其他专项规划协调性差

近年来极端降雨事件发生越来越频繁,城市治涝规划中相应的提标改造、雨水利用设施建设等措施虽然在一定程度上缓解了城市内涝,但建设耗资大、周期长,未能跟上城市化发展的脚步且未与城市防洪、河道水系、道路交通、园林绿地、环境保护等其它规划相衔接。因此解决城市内涝必须结合工程措施与非工程措施,做到蓄、滞、排等手段相结合,并做好与其他专项规划的协调<sup>[7]</sup>。

## 2.3 工程因素

### (1) 管网设计重现期较低,改造较为困难

大部分城市老城区管网设计重现期较低,多为1年一遇、0.5年一遇甚至0.33年一遇;新建城区管网标准也多为1~2年一遇。对排水管网进行提标改造需在建成区开挖路面,工程量及投资较大,改造较为困难。

### (2) 强调外“排”,忽略内“蓄”

传统的市政排水强调快排,忽略自然水体本身的调蓄作用。随着城市的扩张与建设,一些河道、湖泊等天然水体被人工填埋,改为建设用地,使得城市不透水下垫面增加,产汇流速度加快,而城市自身的调蓄能力在快速城市化建设中逐渐减小,城市内涝灾害更易发生。

### (3) 排水系统与排涝系统缺乏有效的衔接

城市的管道排水和河道排涝系统往往是独立进行设计。管道排水一般按照满管重力流设计,要求设计条件下河道水位对管道排水不产生顶托;城市河道排涝是按照河道不漫溢设计,并不考虑河道水位对管道排水的影响。因此,在很多情况下,管道排水与河道排涝系统会有明显不衔接的情况,加重城市内涝灾害损失程度。

### (4) 地下空间治涝措施薄弱,安全隐患较大

现阶段,城市地下空间防涝安全没有得到足够的重视,没有确定的地下空间防涝设计标准和规划。地下空间相对封闭,很难依靠重力自流排水,且逃生通道少,人员伤亡几率增加。

## 2.4 管理因素

### (1) 管理水平较低,管渠系统不完善

管理的不善导致部分排水管道堵塞严重,造成排水路径受阻。多数地区雨水、污水同排,致使市政管网负荷加大,但由于管理水平的落后,市政管网未得到对应的改造,加上管网错接、断接、漏接严重,许多地区管网形成瓶颈效应,致使排水不畅,造成局部地区受淹。

### (2) 人为设置障碍降低河道行洪能力

随着人口增长和城市经济发展,沿河企业不断增加,滥占行洪滩地,在行洪河道管理范围内设置码头、桥梁等阻水建筑物,将工业垃圾任意排泄至河道,使得暴雨发生时河道的过流能力下降,水位壅高,对排水系统产生顶托,使得雨水难以及时排除,甚至倒灌至沿河低洼区域。

## 3 推动内涝防治的积极举措

多年以来,我国的学者与工程师为了解决城市排水防涝问题,在工程措施和非工程措施两个方面采取大量措施推动排水防涝工作不断向前,逐步缩小了与发达国家的差距。

## 3.1 工程措施

### (1) 改变传统排水体制,提高排水标准

传统的城市建设过程中由于技术与资金的限制多采用雨污合流制排水系统。随着社会经济发 展,除降雨量较少的干旱地区,其他新建城市区域均要求采用雨污分流制。在此基础上,有条件的地区对合流制的系统进行分流改造,没有条件的地区采取截留、调蓄和处理相结合的措施,提高截留倍数和综合生活污水量总变化系数,使雨水尽可能分开处理<sup>[8]</sup>。此外,为排除更多的雨水,对于新建排水管道的设计取消了折减系数,使得按照相同标准设计的排水管道排水能力增强。

### (2) 内涝防治系统构建

内涝防治系统通常由“蓄”、“排”两部分组成<sup>[9]</sup>。其中“蓄”主要指天然水体、人工湖泊、深隧等调蓄设施;“排”则主要指具备排水功能的道路或开放沟渠等地表径流行泄通道<sup>[10]</sup>。内涝防治系统是对管网系统的补充,用来排泄超出管道系统标准的地表径流。虽然目前《城镇内涝防治技术规范》<sup>[11]</sup>刚刚开始实行,但是这改变了此前长期将排水标准作为内涝防治标准的做法,弥补了对超标雨水出路问题缺乏考虑的缺陷。

### (3) 以径流量作为区域开发控制指标

我国内涝灾害日益频发,对于排水标准偏低的老城区迫切需要进行改造。在改造过程中,在整体改建区域充分实施低影响开发建设,在执行综合径流系数控制指标的基础上,对径流量进行控制,即严格规定在相同的设计重现期下,改建后的径流量不得超过原有径流量<sup>[12-13]</sup>。

## 3.2 非工程措施

### (1) “海绵城市”理念的提出

传统城市发展和基础设施建设过程中习惯于战胜自然、改造自然的城市建设模式,造成我国城市面临严重的城市病和生态危机<sup>[14]</sup>。面对城市洪涝问题频现等状况,重塑城市“海绵体”,恢复

自然水生态的理念越来越受到关注。在此基础上,提出建设“自然积存、自然渗透、自然净化”的海绵城市,下雨时吸水、蓄水、渗水、净水,需要时将蓄存的水“释放”并加以利用,达到弹性应对洪涝灾害的目的。

#### (2) 雨水设计流量计算方法的改变

制定完成《城市暴雨强度公式编制和设计暴雨雨型确定技术导则》<sup>[15]</sup>,规定暴雨公式编制统一采用年最大值法进行选择,并及时组织对暴雨强度公式进行修订。

过去统一采用推理公式法进行雨水设计流量计算,而推理公式法的使用本身存在一定的局限性,其理论依据是恒定均匀流,因此现在对于汇水面积大于  $2 \text{ km}^2$  的地区推荐采用数学模型法计算。通过数学模型模拟计算可以较为准确地模拟管道系统的排水量以及超出管道设计标准雨水量的积水地点、深度和时间,为工程设计提供依据。

#### (3) 协调排水工程设计与相关专项规划的关系

随着海绵城市的建设与推进,近年来的规划编制中均综合考虑了年径流总量控制率的要求,将排水工程设计与其它专项规划和设计相协调。例如在城市景观规划中,建设低于周边道路用地的公园、广场使得它们可在暴雨来临时发挥临时滞洪区的作用等,这更好地与海绵城市专项规划进行了协调,有利于实现对径流总量及峰值的控制。

## 4 应对内涝尚存在的不足

### 4.1 规划设计

#### (1) 相关规划不适应当前城市化发展的需要

城市总体规划、专项规划、详细规划等规划从不同层面布局排水防涝工作,但是各个规划关注点不同,不能协调适应当前城市化发展的需要<sup>[3]</sup>。城市总体规划仅是对供排水做出原则性的描述,规定一些实施目标;专项规划虽然覆盖面较大,但是受资料、时间等的限制,仅停留在面上,缺乏深度;详细规划虽然有一定深度,但是系统性较差,更多的是注重管道、泵站等工程规模设计。此外,这些未根据最新标准、规范进行修编的规划大多只规定了排水管道等雨水设施建设标准,并未考虑暴雨发生时的城市内涝防治措施研究、超标雨水应对系统建设、排水管道与排涝河道水位衔接关系等。

#### (2) 设计方法的滞后性

我国排水管网的设计还习惯于先确定径流系数,再由径流系数根据推理公式得出设计流量值的方法来计算雨水设计流量值。新版室外排水设计规范只提及了用于雨水设计流量计算的数学模型的使用条件但并未做硬性规定。由于推理公式假定流域汇流过程符合线性规律,满足倍比、叠加假定,汇流面积随汇流时间增长均匀增加,降雨强度在时间和空间上均匀分布,其只适用于较小汇流面积的计算。虽然对汇水面积大于  $2 \text{ km}^2$  的设计流量计算方法进行了规定,但目前大多数排水工程设计中还是习惯采用推理公式法作为雨水流量设计方法,这种不加限制的应用会使得工程

设计精度降低<sup>[16]</sup>。

#### (3) 内涝防治工程缺失,防涝体系不完善

我国一直以来都采用城市排水工程和城市防洪排涝工程两套体系进行城市洪涝灾害的治理,原有的城市规划设计理念中不包括内涝防治体系(也叫大排水体系)的相关内容,仅在《室外排水设计规范》(2014版)<sup>[17]</sup>中提出城市内涝防治的标准,因此对于城市内涝的治理多停留在排水工程的提标改建,对超出管道排水标准的降雨未作考虑。虽然新版室外排水设计规范已经规定了不同类型城市的内涝防治标准,但是目前还缺乏相应的工程体系建设经验,未对设计方法、设计规范标准进行统一<sup>[18]</sup>。

#### (4) 地下空间治涝措施薄弱,安全隐患较大

现阶段,城市地下空间防涝现状不容乐观,防涝安全不受重视<sup>[19]</sup>,结构设计存在很多不合理的地方,如地铁台阶入口高度过低,无雨篷或雨篷过短;地面排气孔露天设置无必要的防水设施;地下停车场入口低于地面高程且治涝措施过于简单;地下空间相对封闭,自身重力排水及应急避难均较困难,逃生通道少,人员伤亡几率增加<sup>[20]</sup>;灾后处理难度大,城市地下空间的涝灾往往会引发包括触电事故、传染病、供电故障、火灾和环境污染等在内的很多次生灾害。在发生地下空间洪涝的情况下,难以获得实时的淹没信息,无法准确评估灾情风险,市民缺乏自我保护意识,造成城市地下空间涝灾时有发生。

#### (5) 缺乏城市内涝灾害数据库及综合管控系统

城市内涝灾害防治工作涉及面广,需要大量洪水淹没损失及社会经济数据等来构建内涝灾害风险分析模型。而现今我国城市建设过程中,对数据资料的重视程度不够,没有建立排水防涝的综合管控系统,日常的城市排水防涝管理、运行、调度、灾情预警预报工作实施困难,缺乏有效的、可大范围使用的城市洪涝预警预报与应急响应系统。

### 4.2 管网建设

#### (1) 高标准城市雨水排水设施的缺乏

国内城市排水设施设计标准偏低,即使新版《室外排水设计规范》<sup>[1]</sup>已经对排水标准的要求进行了提高,部分城市也经过了一些管网的提标改建,但依然难以达到国外先进国家的排水标准,无法跟上城市发展的脚步,使得超标暴雨发生时,城市内涝严重。

#### (2) 侧重于管网的提标改造,缺乏系统的规划

室外排水规范中对内涝的定义将其成因侧重于发生的强降雨或连续性降雨超过管道排水能力,忽略了内涝成因的复杂多重性,在应对内涝过程中只注重提高排水标准,未对超标雨水的去向进行全面布局,也缺乏对管道和河道衔接的系统规划。

#### (3) 地下排蓄水工程实施难度及影响大

我国大部分已建城市地下管网的改建铺设涉及范围广,实际工程施工中对城市道路及居民生活影响大。地下排蓄水工程的开挖难度大,投资大,施工工期长,后期检修养护存在一定难度。

#### (4) 对管网的维护检修工作不到位

我国管道直径小且埋于地下,由于相关规章

制度没有落实,日常管理工作不到位,致使管网老旧、堵塞现象严重,降低了管网排水能力,影响排水。管理的不善导致部分排水管道以及雨水口堵塞严重,造成排水困难。城市排水管网的建设进程不一致,部分地区排放口设施建设未做到同期建成,导致排水口出水口处雨水淤积堵塞,排水系统不完善。

#### 4.3 体制机制

##### (1) 多龙管水的格局尚未根本改变

城市管道排水和河道排涝分属水利部门和市政部门管理,按照相应的行业规范确定设计标准,但两者之间不衔接,造成管道排水和河道排涝不匹配,容易出现涝水难以排入外河的现象而造成城市内涝。近年“水务一体化”提出后,所有涉水事务虽由水务部门统一负责,但由于改革不完善,目前仅仅在部分市、县层面进行了水务一体化的改革,但省、部层面尚未进行改革,由下至上的改革还未完成。此外,完成水务一体化改革的地区,水务部门的理念、思路、方法未能同步转变,排水、防涝、防洪设计未能统筹安排,依然沿用各自之前的一套方法。

##### (2) 人为割裂“洪”与“涝”的联系

城市内涝的产生与城市外河洪水有密切联系并且外来洪水多对城市内涝产生重大影响。但是我国由于体制及历史原因,对洪涝采取分开治理的方式,与城市防洪依托于整个流域,并考虑上下游的协调关系不同,内涝治理一般只考虑城市层面是否会产生积水及径流如何排出,而不考虑下游受纳水体以及对下游城市造成的影响。

#### 4.4 应急抢险

就目前的实际情况来看,现有人员和救援设施的规模只能对抗一般规模的洪涝灾害。当洪涝灾害的影响力度进一步增强,影响范围进一步扩大时,现有的人员和救援设施储备量将不足以应对相应的抢险工作与抢险任务。在动态的抢险过程当中,存在设备安装现场的机械化保障不够的问题,使得救援工作很大程度上不能及时有效进行。

## 5 亟待解决的问题

### 5.1 城市水文观测、监测站网布设

要认识城市化过程对当地水文特性的影响,防治城市发展造成的各类水问题,首先必须掌握城市化地区水文气象的基础资料,掌握城市实时的雨情、水情,模拟、预测和预报城市现状和未来发展可能发生的雨情、水情和灾情,为城市水灾害的预防和治理提供科学依据。

需根据城市现状和规划发展要求,注重科学性、现代性、合理性要求,在城市现有监测条件的基础上,衔接中心城区外部站点,优化区内站点布局,适当提高站点密度,革新监测手段,安装实时动态采集和监测系统,建立一个比较完善的城区水文气象监测体系,可以监测城市暴雨过程,排水干管流量,检查井水位,地面淹水状况,河道水位、流量等,为城市实时水情灾情监测和预警、水文规律研究、水灾害成因分析、防汛应

急对策、防洪治涝规划、海绵城市建设等提供基础数据和科学支撑。

### 5.2 城市雨洪过程与演变规律研究

由于城市不透水下垫面占比较大,其雨洪过程绝大部分为地面流,过程历时短,涨落幅度大。与天然流域相比,城市的排水能力受制于管道的排水能力,超过排水能力的径流会在地表形成积水,这是城市汇流与天然流域的根本差别所在。城市地区空间和时间尺度相较于天然流域都很小,其水文要素的响应过程十分敏感,加上全球气候变化与人类活动的影响,这要求在研究城市雨洪过程中必须考虑所涉及的各项影响因素及其相互之间的作用,分析变化环境对城市雨洪过程及其演变规律带来的影响。

### 5.3 城市极端降雨事件的预报与应用

准确的降雨预报是水文预报的关键前提。城市洪涝预报的空间和时间尺度均比流域小,水文要素的响应过程十分敏感,因此对短历时强降雨的定量预报(Quantitative Precipitation Forecasts, QPF)要求也较高<sup>[21]</sup>。在以后的发展过程中需加强系统研究,提高QPF的预报精度及准确率,开发适应城市水文研究尺度的预报方法,使其能够早日应用到城市水文学中,为城市雨洪预警预报、海绵城市建设提供理论与技术基础<sup>[22]</sup>。

### 5.4 城市排涝标准匹配体系研究

城市的两级排水系统决定了城市排涝既影响城市排水,又受到防洪影响。在进行规划设计过程中,防洪、排涝、排水工程均采用不同的规范及计算方法<sup>[23]</sup>。管道排水与区域排涝在计算方法、设计标准、设计历时方面存在不一致的情况,造成排水与排涝系统的不衔接,影响了正常的排水防涝。河道排涝系统与管道排水系统的分别设计,常使得交界水文条件不衔接。城市防洪具有明确的设计标准,而城市排涝标准相对模糊。在规划过程中需既保证城市区域内部涝水安全排出,又保证外河洪水不对当地及下游地区造成影响,使得城市外部防洪标准和内部排涝标准衔接。因此,有必要对防洪标准与排涝标准的衔接、排水标准与排涝标准的衔接展开研究形成匹配的城市排涝标准体系。

### 5.5 城市雨洪预警预报及应急响应系统

洪涝灾害的预测、预警、应急响应技术作为保障城市防洪排涝安全最重要的非工程措施之一,存在预报预警能力低、应急管理薄弱等问题。城市开发过程中土地利用方式的多样化以及人类活动均给城市水文带来众多影响,使得城市水文特性更为复杂,暴雨洪水的预见期缩短,洪涝灾害损失严重。要对城市汛情做出正确的预测,合理地指导防汛抢险抗灾工作,必须能通过对雨情、水情、工情、灾情以及地理信息采集,建立城市洪涝预警、预报模型,并利用历史涝灾资料和实时涝情进行参数率定、模型验证和实时校正,迅速地处理大量信息和数据,及时地进行城市暴雨径流计算,可以针对不同雨型模拟城市可能的地面积水状况,在短时间内分析各种灾情后果并形成防汛决策预案,为城市防汛部门抢险、调度、决策提供科学依据。

## 5.6 城市雨洪管理体系

城市雨洪管理体系作为完整应对快速城镇化进程中城市内涝、水质污染、水资源短缺与水生态系统退化等问题的系统,改变了传统快速排放雨水方式,利用小型化、场地化的源头控制措施模拟雨水自然储存和入渗过程。我国海绵城市是在融合国外雨洪管理体系建设经验的基础上,结合自身实际情况建立的,但由于起步晚,存在着现行法规制度不完善、未充分因地制宜、缺乏科学性的前期分析与效果评估、短时间建设及实施难度大等问题,需在健全相关法律法规的基础上采取有效的技术手段系统合理地完善规划编制方案,通过规划、市政、水利、环境、景观、建筑、道路、管理等专业的技术人员广泛参与和积极配合,全面推进城市雨洪管理体系的建设,有效减轻城市内涝及缓解城市面源污染问题。

## 参考文献:

- [1] GB50014-2006, 室外排水设计规范(2016 年版)[S]. 北京: 中国计划出版社, 2016.
- [2] 张冬冬, 严登华, 王义成, 等. 城市内涝灾害风险评估及综合应对研究进展[J]. 灾害学, 2014, 29(1): 144-149.
- [3] 谢映霞. 从城市内涝灾害频发看排水规划的发展趋势[J]. 城市规划, 2013, 37(2): 45-50.
- [4] 姜仁贵, 韩浩, 解建仓, 等. 变化环境下城市暴雨洪涝应对新模式研究[J]. 灾害学, 2017, 32(3): 12-17.
- [5] 耿莎莎. 基于城市规划视角下的城市内涝防治研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2013.
- [6] 胡茂川, 张兴奇. 南京市内涝灾害成因分析[J]. 重庆交通大学学报(社会科学版), 2011, 11(3): 28-30.
- [7] 王江波, 张茜, 吴丽萍, 等. 我国城市内涝问题研究综述[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(30): 12072-12078.
- [8] 于卫红. 城市排水规划的热点问题探讨[J]. 中国给水排水, 2006, 22(8): 16-18.
- [9] 谢映霞. 排水防涝, 重任在肩——写给《城市排水(雨水)防涝综合规划编制大纲》颁布一周年[J]. 给水排水, 2014, 40(6): 1-3.
- [10] 车伍, 杨正, 赵杨, 等. 中国城市内涝防治与大小排水系统分析[J]. 中国给水排水, 2013, 29(16): 13-19.
- [11] GB51222-2017, 城镇内涝防治技术规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2017.
- [12] 张辰. 适当提高排水管网设计标准逐步建立城市内涝防治体系[J]. 给水排水, 2013, 39(12): 1-3.
- [13] 靳俊伟, 吕波, 章卫军, 等. 重庆主城区排水(防涝)综合规划总体技术路线[J]. 中国给水排水, 2015, 31(8): 24-29.
- [14] 仇保兴. 海绵城市(LID)的内涵、途径与展望[J]. 给水排水, 2015, 41(3): 1-7.
- [15] 住房和城乡建设部、中国气象局. 城市暴雨强度公式编制和设计暴雨雨型确定技术导则[EB/OL]. (2014-05-23)[2017-10-01]. [http://www.cma.gov.cn/2011xwzx/2011xxfw/2011xbz/xbzzy/201405/t20140523\\_247145.html](http://www.cma.gov.cn/2011xwzx/2011xxfw/2011xbz/xbzzy/201405/t20140523_247145.html).
- [16] 王磊, 周玉文. 国内外城市排水设计规范比较研究[J]. 中国给水排水, 2012, 28(8): 30-34.
- [17] GB50014-2006, 室外排水设计规范(2014 年版)[S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.
- [18] 高峰, 刘鹏, 黄超然. 基于系统思考的武汉市内涝成因分析及对策[J]. 灾害学, 2017, 32(3): 101-106.
- [19] 浦伟庆. 城市地下空间防洪与对策研究[J]. 水运工程, 2008, 34(10): 223-228.
- [20] 徐梅. 城市地下空间灾害综合管理的系统研究[D]. 上海: 同济大学, 2006.
- [21] 宗志平, 代刊, 蒋星. 定量降水预报技术研究进展[J]. 气象科技进展, 2012, 02(5): 29-35.
- [22] 宋晓猛, 张建业, 王国庆, 等. 变化环境下城市水文学的发展与挑战——II. 城市雨洪模拟与管理[J]. 水科学进展, 2014, 25(5): 752-764.
- [23] 朱靖, 刘俊, 崔韩, 等. SWMM 模型在西南地区山前平原城市防洪计算中的应用[J]. 水电能源科学, 2013, 31(12): 38-41.

# Analysis of Current Situation and Problems of Urban Waterlogging Control in China

ZHOU Hong, LIU Jun, GAO Cheng and OU Shufang

(College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** Due to the global climate change and the impact of human activities, urban waterlogging disasters occurred frequently in recent years. Under this background, and from the perspective of terrain features we briefly describe the area where the urban waterlogging happened easily, analyze the causes of urban waterlogging, summarize the main factors of occurring the urban waterlogging as natural factors, planning factors, engineering factors, management factors, and discuss the factors above respectively. We also review the practices and improvements in the process of solving the problems of urban drainage and waterlogging from the aspects of engineering measures and non-engineering measures, and point out the problems existing in planning and design, pipe network construction, system mechanism and emergency rescue insufficient. In view of the shortcomings in the existing research, we point out the problems that need to be solved urgently in urban waterlogging control under the changing environment.

**Key words:** urban waterlogging; waterlogging control; urban rainwater; rainwater pipe network; sponge city